

УДК 004.942

И.В. Шостак, М.А. Данова, Ю.А. Романенков

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков***ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ЭКСПЕРТНЫХ РЕШЕНИЙ В НАЦИОНАЛЬНЫХ ФОРСАЙТ-ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Приведена постановка задачи информатизации этапов национального форсайт-проекта по выбору приоритетных направлений научно-технического развития страны, результат решения данной задачи - перечень приоритетных направлений развития науки и технологий для объекта исследований. Методической основой послужили методы библиометрии и наукометрии, многокритериальных задач принятия решений и патентного анализа, а также методы комплексирования прогнозных оценок.

Ключевые слова: форсайт, прогнозирование, библиометрия, патентный анализ, Парето оптимальность, комплексирование прогнозных оценок.

Введение

В настоящее время практически во всех развитых странах периодически формируются специальные программы, определяющие приоритетные области развития науки и техники. Методы, используемые в процессе разработки этих программ, получили обобщенное название форсайт, от английского «foresight» – «предвидение». Под форсайтом понимается процесс систематического определения новых стратегических научных направлений и технологических достижений, которые в долгосрочной перспективе смогут оказать серьезное воздействие на экономическое и социальное развитие страны. [1].

Основная идея форсайта заключается в определении стратегических направлений развития науки, технологии, экономики, социальной сферы и т.д., которые через 15-20 лет станут определяющими для всего мирового сообщества [1]. На сегодняшний день в большинстве стран мира (США, Японии, Великобритании, Франции, Швеции, России и пр.), в частности, и в Украине, методология форсайт зарекомендовала себя как наиболее эффективный инструмент выбора приоритетов в сфере науки и технологий. Данная методология применяется для прогнозирования научно-технического развития (НТР) на всех уровнях – от корпоративного до национального. На основе форсайта разрабатываются средние и долгосрочные, на 5-30 лет, стратегии развития экономики, науки, технологий, нацеленные на повышение конкурентоспособности и, в целом, обеспечение эффективного развития социально-экономической сферы.

В настоящее время отсутствует единая модель Форсайта, каждая страна адаптирует ее к своим условиям с учетом национальных интересов, используя при этом различные методики прогнози-

рования будущего. Однако, анализ публикаций отечественных и зарубежных источников [1-8], посвященных исследованию теоретических и практических аспектов применения методологии Форсайт, показал, что существует необходимость дальнейшего исследования проблемы, связанной с автоматизацией методологии Форсайт. Так, украинский вариант методологии форсайт [3] предполагает реализацию набора этапов, путем анкетирования группы экспертов. Авторами были проанализированы пути автоматизации каждого из четырех этапов национального форсайт-проекта [9-12]. В результате этого анализа была предложена специализированная методика выбора приоритетов [14], которая позволит повысить эффективность процесса национальных форсайт-проектов, за счет их полной компьютеризации на основе формальных методов.

Цель статьи состоит в описании информационной технологии (ИТ) поддержки принятия экспертных решений (ППЭР) при прогнозировании научно-технического развития крупномасштабных объектов, воплощенной в форме диалоговой компьютерной системы поддержки принятия решений (СППР) участников форсайт-проекта.

1. Постановка задачи

Исходными данными являются обязательные этапы национальной методики прогнозно-аналитических исследований, адаптированной под использование в рамках компьютеризированной системы СППР реализации каждого этапа методологии форсайт [14].

Необходимо разработать информационную технологию поддержки принятия экспертных решений при реализации национального форсайт-исследования с возможностью комплексирования прогнозных оценок на этапе формирования исходного перечня тематических направлений.

В результате решения задачи будет создана информационная технология поддержки принятия экспертных решений при прогнозировании научно-технического развития крупномасштабных объектов. В дальнейшем предполагается воплотить разработанную информационную технологию в форме диалоговой компьютерной СППР участниками форсайт-проекта.

2. Содержание этапов информационной технологии ППЭР при реализации национальных форсайт-исследований

Разработанная ИТ ППЭР, структура которой приведена на рис.1, состоит из пяти основных частей (этапов): настройка модели форсайт-исследования; формирование экспертных панелей; формирование исходного перечня тематических

направлений (ТН); оценка и уточнение исходного перечня ТН; согласование и утверждение приоритетных направлений.

На первом этапе ИТ необходимо выбрать тип и главную цель форсайт-исследования. После чего производится настройка модели форсайт-исследования, то есть определяется содержание и последовательность этапов форсайт-исследования, а также набор методов для каждого из этапов.

На втором этапе ИТ производятся такие операции, как расчет необходимого числа экспертов исследования и обобщенного показателя уровня компетентности каждого эксперта на основании коэффициентов отражающих как уровень профессиональной подготовки, так и личные качества эксперта.

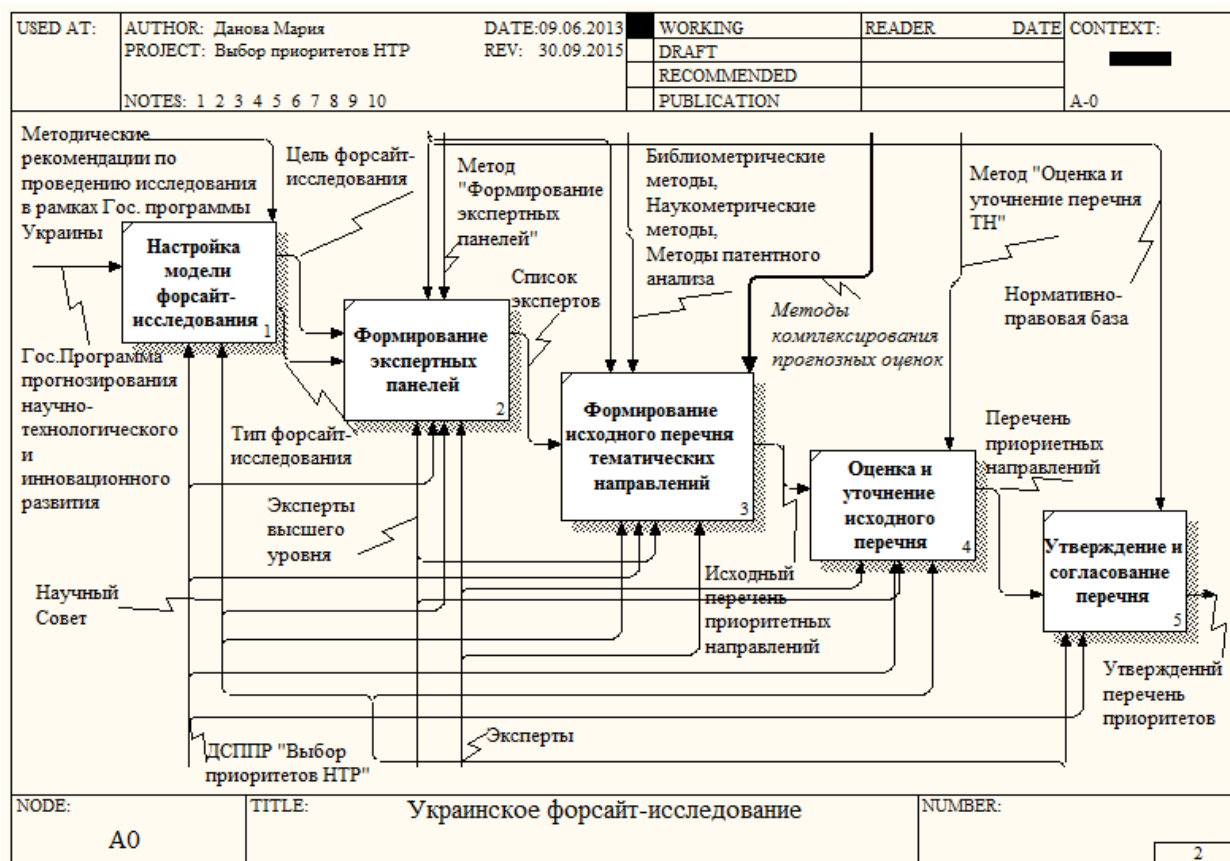


Рис. 1. Структура информационной технологии поддержки принятия экспертных решений в национальных форсайт-исследованиях.

Состав экспертов, участвующих в прогнозировании – ключевой параметр, определяющий качество будущего прогноза. Таким образом, для проведения качественной экспертизы необходимо решить следующие задачи:

- 1) оценить уровень компетентности экспертов;
- 2) определить численность экспертной группы;
- 3) сформировать окончательный список экспертов, участвующих в экспертизе.

Обозначим через Q множество экспертов, тогда для оценки уровня компетентности каждого i -го эксперта ($i=1, \dots, m$) воспользуемся обобщенным показателем уровня компетентности (K_i) приведенным в [15], который учитывает как профессиональную деятельность, так и личные качества экспертов:

$$K_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 K_{ij}, \quad (1)$$

где K_{i1} – коэффициент, отражающий уровень профессиональной подготовки и информированности i -го эксперта (учитывает уровни квалификации «доктор наук», «кандидат наук» и т.д. и измеряется в баллах $0,5 \leq K_{i1} \leq 1$);

K_{i2} – коэффициент, отражающий уровень базовой аргументации i -го эксперта при принятии им решения (учитывает такие факторы, как интуиция, производственный опыт, теоретический анализ и пр. и измеряется в баллах $0,05 \leq K_{i2} \leq 1$);

K_{i3} – коэффициент, отражающий личные качества i -го эксперта, и вычисляемый на основе самооценки ($0 \leq K_{i3} \leq 1$):

$$K_{i3} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n K_{i3j}, \quad (2)$$

где K_{i3j} – коэффициент отражающий самооценку i -го эксперта по наличию у него j -го личного качества; n – количество личных качеств эксперта;

K_{i4} – коэффициент, отражающий личные качества i -го эксперта, и вычисляемый коллегами экспертами ($0 \leq K_{i4} \leq 1$):

$$K_{i4} = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{l=1}^m \sum_{j=1}^n K_{i4jl}, \quad (3)$$

где K_{i4jl} – коэффициент, данный l -м экспертом о наличии j -го личного качества у i -го эксперта; n – количество личных качеств эксперта; m – количество экспертов, участвующих в оценке i -го эксперта).

В качестве критерия оценки необходимого числа экспертов воспользуемся следующей формулой:

$$N_{\min} = 0,5(3/\varepsilon + 5), \quad (4)$$

где N_{\min} – минимально необходимое число экспертов; ε – параметр, задающий минимальный уровень ошибки экспертизы ($0 < \varepsilon \leq 1$).

При допустимой ошибке экспертного анализа в 5 % ($\varepsilon = 0,05$) количество экспертов должно быть не менее 32. Согласно [16] необходимое количество экспертов для группового оценивания должно быть не менее 7–9 человек, следовательно, число экспертов, участвующих в прогнозировании, находится в пределах $7 \leq N \leq 32$.

Чтобы получить окончательный список всех экспертов, прошедших аттестацию, их ранжируют по уровню компетентности (значению обобщенного показателя K_i) и в соответствии с отношением (4) формируется список экспертов, участвующих в экспертизе.

В рамках третьего этапа происходит формирование исходного перечня ТН, для его последую-

щей оценки, а также рассчитываются значения критериев их оценки.

Разобьем поставленную выше задачу на ряд подзадач:

а) сформировать исходный перечень ТН, для их последующей оценки на четвертом этапе национальной форсайт-методики;

б) рассчитать значения количественных критериев оценки по каждому из направлений;

в) получить значения качественных критериев оценки по каждому из направлений.

Для решения первой из поставленных подзадач необходимо при помощи методов библиометрии, наукометрии и патентного анализа сформировать исходный перечень ТН. При этом предлагается использовать методы комплексирования прогнозных оценок [21], которые позволят повысить точность выбора ТН для формирования их исходного перечня. Для решения двух оставшихся задач необходимо рассчитать значения критериев из системы критериев оценки по каждому ТН. В результате формируются более совершенные перечни ТН НТР, каждое из которых имеет количественную оценку на основании полученных значений критериев их оценки, что в дальнейшем позволит определить ряд приоритетных.

Формирование перечня ТН производится методами наукометрии, библиометрии, патентного анализа, а также комплексирования прогнозных оценок.

Метод подсчета количества публикаций (библиометрический анализ) [17] заключается в следующем: производится количественная оценка документного потока, организованного в рамках одной из принятых классификаций (Государственный рубрикатор научно-технической информации [18]), т.е. проводится анализ количества научных документов из разных областей знаний, которые были прореферированы. Таким образом выделяют области науки и отдельные разделы, которые по числу научных публикаций занимают ведущее место в структуре научных знаний. Затем сравнивается количество публикаций по отдельным отраслям, с целью выделить «ведущие» отрасли знаний (в процентном отношении к общему количеству публикаций, прореферированных за данный период).

Анализ цитирования в наукометрии [19] осуществляется путем исследования библиографических ссылок в публикациях баз данных научной периодики (Web of Science, SCOPUS, Российский индекс научного цитирования, Национальная библиотека Украины им. В.И. Вернадского, реферативная БД научных специализированных изданий, которая является составной частью БД "Научные периодические специализированные издания МОН Украины") с целью выявления цитируемости публикаций, формирующих

определенное направление науки (направление науки, количество ссылок [самоцитирование исключается], общее количество публикаций по направлению). По результатам анализа цитирования выделяют наиболее ведущие научные направления.

В патентном анализе, с целью получения количественных характеристик развития отдельных направлений науки и техники, используются статистические методы обработки массивов патентной информации [20]. К ним относится анализ кривых динамики изобретательской активности по каждому научно-техническому направлению, который заключается в построении кумулятивных рядов патентования, характеризующихся возрастом суммарного числа патентов, относящихся к данному направлению. Интенсивность развития исследуемого направления определяется тангенсом угла наклона кривой динамики патентования к временной оси, а на его основе рассчитываем коэффициент весомости исследуемого ТН, который и принимают в качестве количественного показателя перспективности исследуемого направления:

$$D_i = \frac{\operatorname{tg} \alpha_i}{\sum_{i=1}^n \operatorname{tg} \alpha_i}, \quad (5)$$

где D_i – коэффициент весомости i -го ТН, причем $\sum D_i = 1$; $\operatorname{tg} \alpha_i$ – тангенс угла наклона касательной к кривой динамики изобретательской активности i -го ТН; $\sum \operatorname{tg} \alpha_i$ – сумма тангенсов углов наклона касательных к кривым динамики изобретательской активности всех ТН.

Метод динамического комплексирования прогнозных оценок.

Если в распоряжении исследователя имеются n прогнозных оценок $\hat{F}_i[k]$, $i = \overline{1, n}$ относительно некоего показателя F на момент времени k , полученных из n источников, то для получения консолидирования прогнозных оценок могут применяться методы комплексирования, в частности, метод динамического комплексирования прогнозных оценок [22].

Прогноз на основе комплексирования n прогнозных оценок определяется как взвешенная сумма оценок:

$$\hat{F}_\Sigma[k] = \sum_{i=1}^n w_i \hat{F}_i[k], \quad (6)$$

где $\hat{F}_\Sigma[k]$ – итоговый прогноз на основе комплексирования прогнозных оценок; w_i – весовые коэффициенты, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Определение набора весовых коэффициентов w_i является основной задачей параметрической

настройки системы комплексирования.

Изложим основные подходы к решению этой задачи в соответствии с [21].

1. Усреднение прогнозов (весовые коэффициенты одинаковые). Для n источников среднее определяется просто:

$$\hat{F}_\Sigma[k] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{F}_i[k]. \quad (7)$$

Если отдельные прогнозы не смещены (это должен обеспечивать источник), то итоговый прогноз также будет несмещенным. Погрешность итогового прогноза определяется как среднее погрешностей отдельных оценок:

$$\begin{aligned} e_\Sigma[k] &= F[k] - \hat{F}_\Sigma[k] = F[k] - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{F}_i[k] = \\ &= \frac{1}{n} (F[k] - \hat{F}_1[k]) + \frac{1}{n} (F[k] - \hat{F}_2[k]) + \\ &+ \dots + \frac{1}{n} (F[k] - \hat{F}_n[k]) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i[k], \end{aligned} \quad (8)$$

где $e_\Sigma[k]$ – погрешность итогового прогноза; $e_i[k]$ – погрешность прогноза, полученного из i -го источника; $F[k]$ – фактическое значение показателя F в момент времени k .

При этом для двух источников дисперсия погрешности итогового прогноза определяется выражением:

$$\sigma_\Sigma^2 = \frac{1}{4} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2\rho\sigma_1\sigma_2), \quad (9)$$

где ρ – коэффициент корреляции между погрешностями прогнозов. Если погрешности оценок прогнозов, полученных из двух источников, независимы, то формула (9) упрощается:

$$\sigma_\Sigma^2 = \frac{1}{4} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2). \quad (10)$$

2. Взвешенное комплексирование прогнозов. Если информация относительно характеристик оценок прогнозов от различных источников отсутствует, то можно присвоить весовые коэффициенты в формуле (6) на основе субъективных или экспертных суждений, соблюдая при этом соотношение

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

Очевидно, что большие значения весовых коэффициентов необходимо присваивать тем прогнозам, которые имеют меньшую дисперсию погрешностей. Иногда погрешности прогнозов для конкретных источников известны или их можно определить на ретроспективной (обучающей) выборке. Поскольку источники, которые дают меньшие суммы квадратов погрешностей прогнозов, генерируют более качественные прогнозы, то логично принять эту меру за основу для определения весовых коэф-

фициентов.

Обозначим сумму квадратов погрешностей прогнозирования (для исторического прогноза длиной N) через

$$sse = \sum_{i=1}^N e^2[k-i], \quad (11)$$

где N – длина ретроспективной (обучающей) выборки.

Теперь можно записать выражения для весовых коэффициентов отдельных прогнозов:

$$w_i = \frac{1}{sse_i} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{sse_i}}, \quad (12)$$

где sse_i – сумма квадратов погрешностей прогноза i -го источника.

3. Динамическое комплексирование прогнозов (разработано авторами). Идея предлагаемого подхода состоит, в отличие от предыдущего, в определении весовых коэффициентов комплексирования не на основании накопительной дисперсии на обучающей (ретроспективной) выборке sse , а на прогнозе дисперсии на следующий момент времени $\hat{e}[N+1]$.

Пусть исследователю доступны прогнозы из n источников, причем информация об ошибке прогнозов представлена в виде временных рядов абсолютных отклонений за весь период обучающей (ретроспективной) выборки:

$$\begin{aligned} \{e_1\}_N &= \{e_1[k-N], e_1[k-N+1], \dots, e_1[k-1]\}, \\ \{e_2\}_N &= \{e_2[k-N], e_2[k-N+1], \dots, e_2[k-1]\}, \\ &\dots \\ \{e_n\}_N &= \{e_n[k-N], e_n[k-N+1], \dots, e_n[k-1]\}. \end{aligned} \quad (13)$$

Будем считать, что прогнозная оценка каждого из n источников не смещена, т.е. математическое ожидание каждой из n ошибок e_i равно 0.

Рассмотрим временные ряды квадратов ошибок, полученные на основе (13).

$$\begin{aligned} \{e_1^2\}_N &= \{e_1^2[k-N], e_1^2[k-N+1], \dots, e_1^2[k-1]\}, \\ \{e_2^2\}_N &= \{e_2^2[k-N], e_2^2[k-N+1], \dots, e_2^2[k-1]\}, \\ &\dots \\ \{e_n^2\}_N &= \{e_n^2[k-N], e_n^2[k-N+1], \dots, e_n^2[k-1]\}. \end{aligned} \quad (14)$$

На основании рядов (14) можно получить прогнозные оценки дисперсий $\hat{e}_1^2[k]$, $\hat{e}_2^2[k]$, ..., $\hat{e}_n^2[k]$. При этом можно использовать как простейшие ме-

тоды (например, линейную аппроксимацию), так и нетривиальные методы (например, экспоненциальное сглаживание, «Гусеница»-SSA [23] и др.).

Получив такие прогнозы, логично включить их в формулы для определения весовых коэффициентов w_i , например, таким образом:

$$w_i = \frac{1}{\hat{e}_i^2[k]} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\hat{e}_i^2[k]}}. \quad (15)$$

При отсутствии явных тенденций в рядах (14) формула комплексирования (15) сводится к (12). Если же тенденции рядов (14) окажутся различными, то больший вес будет иметь прогноз того источника, от которого обоснованно ожидается меньшая ошибка прогноза.

В результате решения первой из поставленных подзадач получим ранжированный перечень ТН, окончательный состав которых должен уточнить и утвердить Научно-технический Совет, как предписано национальной форсайт-методикой [3], для дальнейшего расчета значений критериев их оценки.

Следующим шагом в процедуре формирования исходных перечней ТН является решение второй и третьей подзадач, а именно – расчета значений критериев оценки по каждому из ТН, которые предусмотрены национальной методикой форсайтных исследований и схематично представлены на рис. 2. Указанные критерии, согласно их значениям, делят на количественные и качественные, полученные путем экспертного оценивания.

К количественным критериям (выраженным количественными значениями) относятся – финансирование; наличие научных специалистов; результативность научно-технической деятельности; наличие производственных мощностей и наличие экспериментально-производственной базы.

Для нахождения значений критерия «Финансирование» (K_Φ) определяют удельный вес капитальных затрат во внутренних затратах на научные исследования, разработки и закупки оборудования [24].

$$K_\Phi = \frac{Z_{\text{науч}} + Z_{\text{обор}}}{Z_{\text{общ}}} \cdot 100\%, \quad (16)$$

где $Z_{\text{науч}}$ – капитальные затраты на научные исследования и разработки; $Z_{\text{обор}}$ – капитальные и текущие затраты на закупки оборудования; $Z_{\text{общ}}$ – внутренние затраты на исследования и разработки.

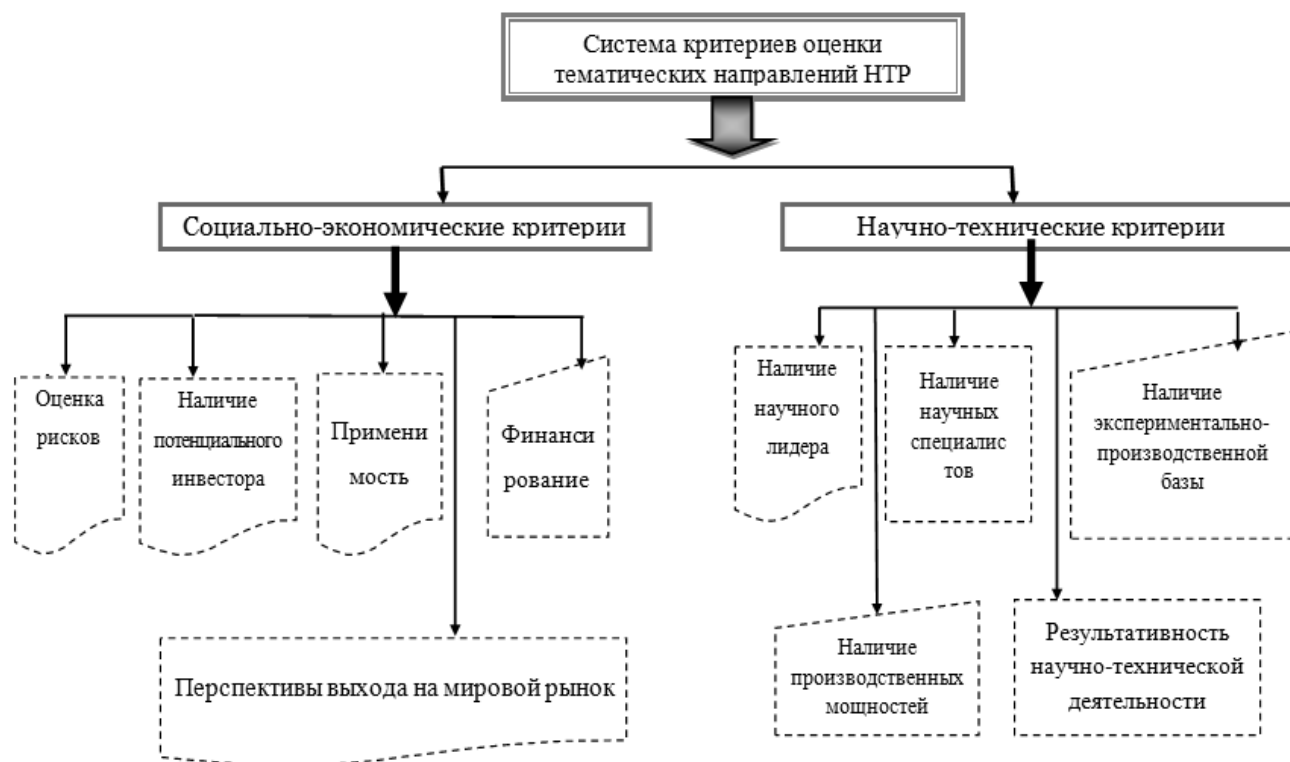


Рис. 2. Система критериев оценки ТН НТР согласно национальной форсайт-методике.

Под критерием «Наличие научных специалистов» ($K_{нс}$) понимается удельный вес численности специалистов высшей квалификации в общем количестве научных работников [25]:

$$K_{нс} = \frac{K_{вк}}{K_{общ}} \cdot 100\%, \quad (17)$$

где $K_{вк}$ – численность специалистов высшей квалификации; $K_{общ}$ – общее количество научных работников.

К специалистам высшей классификации относятся доктора и кандидаты наук, а расчет их численности производится с учетом весовых коэффициентов 0,8 и 0,5 для докторов и кандидатов наук соответственно:

$$K_{вк} = 0,8 \cdot K_{вкдок} + 0,5 \cdot K_{вкканд} \quad (18)$$

Критерии «Наличие экспериментально-производственной базы» ($K_{эпб}$) и «Наличие производственных мощностей» ($K_{пм}$) определяются путем анализа бухгалтерских и статистических отчетных документов (сведения о наличии производственных мощностей, баланс, баланс производственных мощностей и т.п.) учреждений и предприятий определенного ТН. Указанные два критерия принимают значения 1, если наличие подтверждается и 0 – в противном случае.

Критерий «Результативность научно-технической деятельности» ($K_{нтд}$) подразумевает под собой суммарный расчет индикаторов развития определенного ТН, таких как – общее число дей-

ствующих патентов отечественных и иностранных заявителей в Украине ($K_{дпат}$); количество поданных патентных заявок и заявок на полезные модели (за последний год) ($K_{пат}$); количество приобретенных прав на патенты и патентные лицензии ($K_{прпат}$):

$$K_{нтд} = K_{пат} + K_{дпат} + K_{прпат} \quad (19)$$

К качественным или критериям, значения которых получены путем экспертного оценивания, относятся применимость, наличие потенциального инвестора, перспективы выхода на мировой рынок, наличие научного лидера.

Для определения значений по каждому из качественных критериев экспертам необходимо заполнить опросную анкету, полученную путем слияния шаблонов нескольких из опросных анкет в национальной методике форсайт-исследований. Для обработки групповых экспертных оценок необходимо проверить степень согласованности мнений экспертов [26], а затем определить обобщенную (агрегированную) групповую оценку [27] для каждого ТН по каждому из критериев.

В качестве показателей степени согласованности мнений экспертов применяют коэффициент вариации, характеризующий относительное рассеяние результата:

$$V_j = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m_j - 1}}}{\bar{x}_j} \cdot 100\%, \quad (20)$$

где V_j – коэффициент вариации оценок по j -му ТН; m_j – количество экспертов, оценивающих j -е ТН; x_{ij} – оценка в баллах i -м экспертом j -го ТН; \bar{x}_j – среднестатистическое значение величины оценок ТН в баллах:

$$\bar{x}_j = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} x_{ij}}{m_j}. \quad (21)$$

Чем меньше значение коэффициента вариации, тем согласованнее мнение экспертов. Если же согласованность мнений экспертов отсутствует, проводится повторное анкетирование. Экспертам, кроме опросных анкет, высылаются дополнительная информация о предмете экспертизы и они, как правило, корректируют свои оценки. Скорректированная информация вновь поступает в аналитическую группу для проверки согласованности.

Для расчета агрегированной групповой оценки воспользуемся методом средних балльных оценок. Учитывая весовые коэффициенты экспертов, групповая оценка j -го ТН вычисляется как средневзвешенная:

$$x_j^{cb} = \sum_{i=1}^{m_j} (K_i \cdot x_{ij}), \quad (22)$$

где K_i – весовые коэффициенты компетентности экспертов; m_j – количество экспертов, оценивающих j -е ТН; x_{ij} – оценка в баллах i -м экспертом j -го ТН.

На четвертом этапе национальной форсайт-методики необходимо выбрать приоритетные направления НТР путем оценки между собой ТН, полученных на предыдущем этапе. Этап оценки и уточнения перечня ТН заключается в оценке ТН по значениям их критериев. оценка ТН происходит при помощи принципа Парето-оптимальности и метода t -упорядочения (для сужения области Парето). В итоге ТН, чьи векторные оценки составляют множество Парето – являются приоритетными направлениями. Рассмотрим подробнее каждый из методов.

Математическая модель поставленной задачи о выборе наиболее приоритетных направлений НТР может быть представлена в виде

$$B_f = \langle X, f_1, f_2, \dots, f_m \rangle,$$

где X – множество ТН; f_j – числовая функция, заданная на множестве X , при этом $f_j(x)$ есть оценка ТН $x \in X$ по j -му критерию оценки ($j=1, m$).

Цель решения задачи выбора наиболее приоритетных направлений НТР состоит в получение направлений, имеющих как можно более высокие

оценки по каждому критерию, т.е. в выделении множества Парето [28]. Все критериальные функции f_j отражают полезность ТН $x \in X$ с позиций различных критериев оценки и должны быть соизмеримыми, т.е. значения каждой критериальной функции изменяются в одних и тех же пределах $[a, b]$:

$$\forall x \in X: 0 \leq a \leq f_j(x) \leq b, j = \overline{1, m}.$$

При этом наименее предпочтительное по любому из частных критериев $f_j(x)$ ТН получит оценку a , а наиболее предпочтительная – оценку b ($a=0, b=1$).

Указанные выше числовые функции $f_j(x)$ ($j=1, m$) образуют векторный критерий $f = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)) \in R^m$, где R_m – пространство m -мерных векторов. Для всякого ТН $x \in X$ набор его оценок по всем критериям, т.е. набор $(f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x))$ есть векторная оценка ТН x . Все возможные векторные оценки образуют множество возможных оценок $Y = f(X) = \{y \in R^m \mid y = f(x) \text{ при нектором } x \in X\}$.

Отношение доминирования по Парето определяется следующим образом: ТН x_i доминирует по Парето ТН x_j , если векторная оценка $f(x_i) = (f_1(x_i), \dots, f_m(x_i))$ ТН x_i доминирует по Парето векторную оценку $f(x_j) = (f_1(x_j), \dots, f_m(x_j))$ ТН x_j , т.е. если выполняется неравенство $f(x_i) \geq f(x_j)$, а следовательно и $x_i \geq x_j$. Содержательно условие доминирования по Парето означает, что ТН x_i не хуже, чем ТН x_j по любому из рассматриваемых критериев, причем по крайней мере, по одному из этих критериев x_i лучше x_j .

Итак, согласно значениям критериальных функций ТН получим их векторные оценки. Для отыскания множества Парето-оптимальных векторов $P(Y)$ сравниваем их между собой по описанному выше правилу. Если полученные пары оказываются несравнимыми по отношению Парето, тогда ставится задача сужения исходного множества при помощи метода t -упорядочения, с целью выбора нескольких ТН в качестве окончательного результата.

Ставится задача выбора нескольких ТН в качестве окончательного результата при помощи сужения множества Парето. Одним из таких методов является метод t -упорядочения [29], использующий ординальную информацию лица, принимающего решения (ЛПР) об относительной значимости критериев.

В качестве исходной информации для метода t -упорядочения принимается множество S высказываний ЛПР об относительной важности критериев оценки вида:

$$S = \{f_k = f_j; \dots; f_q > f_p\}, \quad (23)$$

которое необходимо расширить за счет добавления новых транзитивных высказываний, являющихся следствиями уже имеющихся.

С учетом полученного множества (23) при сравнении двух векторных оценок ТН строится отношение предпочтения по методу t-упорядочения:

$$\begin{aligned} f(x_z) \succ f(x_w) &\leftrightarrow [\exists f(x_w) \in f(x_w)I: f(x_z) \succ_p f(x_w)], \\ f(x_z) \succ_p f(x_w) &\leftrightarrow \forall j \in [1:m]: f_j(x_z) \geq f_j(x_w) \end{aligned} \quad (24)$$

где $f(x_z)$, $f(x_w)$ – векторные оценки ТН ($f(x_z) = (f_1(x_z), \dots, f_m(x_z))$; $f(x_w) = (f_1(x_w), \dots, f_m(x_w))$); $f(x_w)I$ – множество $f(x_w)$ – улучшенных векторов ($f_k = f_j; f_q > f_p$).

Таким образом, исходными данными задачи являются множество (23) ординальной информации об относительной важности критериев и множество несравнимых по Парето векторов. Выбирается пара векторов $f(x_i)$ и $f(x_j)$ для сравнения их векторных оценок. Вектор $f(x_i)$ фиксируем, а по вектору $f(x_j)$ получаем множества улучшенных векторов $f(x_j)I$ согласно (24). После преобразований получаем вектора, сравнимые по Парето. В итоге получаем множество Парето-оптимальных векторов, а как следствие – приоритетных направлений НТР.

Пятый этап служит для согласования и утверждения приоритетных направлений НТР, полученных на предыдущем этапе. На данном этапе составляется документ, представляющий собой итоговый отчет, в который входят результаты предыдущих этапов, а именно: список экспертов, участвующих в экспертизе, перечень исходных ТН со значениями по каждому критерию их оценки и ранжированный список приоритетных направлений НТР. В случае положительного согласования формируется документ с перечнем утвержденных приоритетных направлений НТР. В противном случае, согласно регламенту национальной форсайт-методики, уточняют входную информацию для ИТ и, при необходимости, вносят корректировки, при этом формируется документ с рекомендациями для повторного исследования.

В рамках рассматриваемой концепции комплексной автоматизации форсайт-проектов, согласование и утверждение перечня тематических направлений будет реализовано в соответствии с подходом, изложенным в [30]. В соответствии с этим подходом для реализации форсайт-проекта синтезируется специальная компьютерная среда, в которую погружены все участники проекта.

Выводы

Предложен подход, предусматривающий авто-

матизацию каждого из четырех этапов национально-го форсайт-проекта по выбору приоритетов при прогнозировании НТР. В рассматриваемой ИТ реализована возможность комплексирования прогнозных оценок. Применение данного подхода на практике даст возможность повысить эффективность форсайт-проектов за счет снижения временных затрат, а также рационального использования денежных и человеческих ресурсов. Полученные результаты могут служить методической основой для создания системы комплексной автоматизации национальных форсайт проектов по выбору приоритетных направлений НТР.

Литература

1. Шелюбская, Н.В. Форсайт – механизм определения приоритетов формирования общества знаний стран Западной Европы [Текст] / Н.В. Шелюбская. - К.: Фенікс, 2007. – 60 с.
2. Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки [Текст]: закон України від 11 липня 2001р. № 2623-III // Відомості Верховної Ради України. 2001. — № 48. — С. 253.
3. Малицький, Б.А. Методичні рекомендації щодо проведення прогнозно-аналітичного дослідження в рамках Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку України [Текст] / Б.А. Малицький, О.С. Попович В.П. Соловйов - К.: Фенікс, 2004. - 52 с.
4. Havas, A. Foresight in the Countries of Central and Eastern Europe [Text] / A. Havas, M. Keenan // The Handbook of Technology Foresight. - Cheltenham: Edward Elgar, 2008. – P. 287-316.
5. Проект Концепции долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2025 года. — Материалы рабочей группы, М.: 2006.
6. Johnston R., Foresight in Industrialising Asia [Text] / R. Johnston, C. Sripaipan // The Handbook of Technology Foresight. - Cheltenham: Edward Elgar, 2008. – P. 333-356.
7. Loveridge, D. United Kingdom Foresight Programme [Text] / D. Loveridge, L. Georghiou, M. Neveda. - PREST. — University of Manchester, 2001 – 200p.
8. Cuhls, K. Foresight in Germany [Text] / K. Cuhls // The Handbook of Technology Foresight. - Cheltenham: Edward Elgar, 2008 – P. 131-153.
9. Шостак, И.В. Проблемы комплексной компьютеризации процесса прогнозирования научно-технического развития региона [Текст] / И.В. Шостак, М.А. Данова, // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 7(59). – С. 236-240.
10. Данова, М.А. Онтологический подход к комплексной компьютеризации процесса прогнозирования научно-технического развития региона [Текст] / М.А. Данова, И.В. Шостак // Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами: тез. доп. X Міжнарод. наук.-практ. конф. 10-16 вересня 2012 р. – Алушта, 2012- С. 60-61.
11. Шостак, И.В. Подход к автоматизации процесса прогнозирования научно-технического развития региона на основе форсайт технологии [Текст] / И.В. Шостак, М.А. Данова // 36. наук. праць військового інституту КНУ ім. Т.Г. Шевченко. – К., 2012. – Вип. 38. – С. 151-154.

12. Данова, М.А. Вопросы компьютеризации процесса прогнозирования научно-технического развития крупномасштабных объектов на основе технологии форсайт [Текст] / М.А. Данова // Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами: тез. доп. XI Міжнарод. наук.-практ. конф. 08-13 вересня 2013 р. – Рибач'є, 2013. – С. 16.
13. Шостак, И.В. Информационная технология поддержки форсайт-проектов в Украине [Текст] / И.В. Шостак, М.А. Данова // 36. наук. праць військового інституту КНУ ім. Т.Г. Шевченка. – К., 2013. – Вип. 43. – С. 211-217.
14. Данова, М.А. Методика выбора приоритетов при прогнозировании научно-технического развития крупномасштабных объектов на основе технологии Форсайт [Текст] / М.А. Данова // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. – №7(104). – С. 227-231.
15. Постников, В.Н. Анализ подходов к формированию состава экспертной группы, ориентированной на подготовку и принятие решений [Текст] / В.Н. Постников // Наука и образование. – 2012. – №5. – С. 333-346.
16. Андрейчиков, А.В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике [Текст] / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.
17. Воверене, О.И. Библиометрия — структурная часть методологии информатики потоков [Текст] / О. И. Воверене // НТИ. Сер. 1. — 1985. — №7. — С. 1-5.
18. Рубрикатор науково-технічної інформації ДК 022:2008 від 01.07.2009 [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://lawburo.ucoz.ua/index/rubrikator_naukovo_tekhnichnoji_informaciji_rubrikator_nti/0 – 140
19. Налимов, В.В. Наукометрия. Изучения развития науки как информационного процесса [Текст] / В.В. Налимов, З.М. Мульченко. – М.: Изд-во Наука, 1969. – 192 с.
20. Скорняков, Э. П. Методические рекомендации по проведению патентных исследований [Текст] / Э. П. Скорняков, Т. Б. Омарова, О. В. Чельшева. - М.: ИНИЦ Роспатента, 2000. – 87 с.
21. Бидюк, П.И. Анализ качества оценок прогнозов с использованием метода комплексирования [Текст] / П.И. Бидюк, А.С. Гасанов, С.Е. Вавилов // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2013. – № 4. – С. 7-16.
22. Романенков, Ю.А. Комплексирование прогнозных оценок в системе мониторинга показателей состояния бизнес-процесса [Текст] / Ю.А. Романенков, В.М. Вартамян, Д.С. Ревенко // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. – Полтава : ПНТУ, 2014. – №2(30). – С. 79-86.
23. Голяндина, Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: прогноз временных рядов [Текст]: учеб. пособие / Н.Э. Голяндина - СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. – 52 с.
24. Ильенкова, С. Д. Инновационный менеджмент [Текст]: учеб.-метод. комплекс / С. Д. Ильенкова, В. И. Кузнецов, С. Ю. Ягудин. – М.: МЭСИ. 2009. – 192 с.
25. Опря, А. Т. Статистика [Текст]: навч. посібник / А.Т. Опря – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 448 с.
26. Орлов, А. И. Прикладная статистика [Текст] / А. И. Орлов. – М.: Экзамен, 2006. – 656 с.
27. Коваленко, И. И. Экспертные технологии поддержки принятия решений [Текст]: моногр. // И. И. Коваленко, А. В. Швед. – Николаев: Иллон, 2013. – 216 с.
28. Петровский, А.Б. Теория принятия решений [Текст] : учеб. для вуз. / А.Б. Петровский. — М.: Изд-во Академия, 2009. — 400 с.
29. Поспелова, И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: учеб. пособие [Текст] / И.И. Поспелова, Л.А. Лотов. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

30. Вишневский, В. Ситуационный центр как инструмент для проведения форсайтных исследований [Текст] / В. Вишневский, С. Симонов // Материалы Междунар. научн.-техн. конф. ITHEA, Украина. – К., 2010. – С. 40-45.

References

- 1.Shelyubskaya, N.V. (2007). Foresight - a mechanism for determining priorities for the formation of a knowledge society in Western Europe. Kiev, Ukraine: Phoenix.
- 2.On the priority directions of science and technology Act 2011 (2623-III). Retrieved from Sheets of Supreme Council of Ukraine
- 3.Malitsky, B.A., Popovich, A.S., & Soloviev, V.P. (2004) Guidelines for predictive and analytical research under the State program of forecasting scientific, technological and innovative development of Ukraine. Kyiv, Ukraine: Phoenix.
- 4.Havas, A., & Keenan, M. (2008). Foresight in the Countries of Central and Eastern Europe. In L. Georgiou, J. Cassingena Harper, M. Keenan, I. Miles, & R. Popper (Eds.), The Handbook of Technology Foresight: concepts and practice (pp. 287-316). Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- 5.Draft Concept of long-term forecast of scientific and technological development of the Russian Federation for the period up to 2025 (2006). Retrieved from www.strf.ru/attach/prognoz.
- 6.Johnston, R., & Sripaipan C. (2008). Foresight in Industrialising Asia In L. Georgiou, J. Cassingena Harper, M. Keenan, I. Miles, & R. Popper (Eds.), The Handbook of Technology Foresight: concepts and practice (pp. 333-356). Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- 7.Loveridge, Georgiou, L., & Nedeva, M. (1995). United Kingdom Foresight Programme. Manchester, UK: PREST, University of Manchester.
- 8.Cuhls, K. Foresight in Germany. In L. Georgiou, J. Cassingena Harper, M. Keenan, I. Miles, & R. Popper (Eds.), The Handbook of Technology Foresight: concepts and practice (pp. 131 - 153). Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- 9.Danova, M.A., & Shostak, I.V. (2012). Problems of complex computerization the forecasting process of scientific and technological development of the region. Radio electronic and computer systems, 7 (59), 236 – 240.
10. Danova, M.A., & Shostak, I.V. (2012). In J.A. Romanenkov (Ed.), The ontological approach to complex computerization of the forecasting process of scientific and technological development of the region. Proceedings of the X International scientific-practical conference: Modern information technologies in economics and management business, programs and projects (pp. 60-61). Kharkov, Ukraine: National Aerospace University named after N.E. Zhykovsky "KhAI".
11. Danova, M.A., & Shostak, I.V. (2012). The approach to automating the process of forecasting scientific and technological development of the region based on technology foresight. Collection scientific papers military institute KNU named after T.G. Shevchenko, 38, 151-154.
12. Danova, M.A. (2013). In J.A. Romanenkov (Ed.), Computerization of the forecasting process of scientific and technological development of large-scale objects based on technology foresight. Proceedings of the XI International scientific-practical conference: Modern information technologies in economics and management business, programs and projects (p. 16). Kharkov, Ukraine: National Aerospace University named after N.E. Zhykovsky "KhAI".
13. Danova, M.A., & Shostak, I.V. (2013). Information technology support foresight projects in Ukraine. Collection scientific papers military institute KNU named after T.G. Shevchenko, 43, 211-217.
14. Danova, M.A. (2013). Methods of selection priorities for forecasting the scientific and technical development of large-

scale objects on the basis of technology foresight. *Aerospace technics and technology*, 7 (104), 227-231.

15. Postnikov, V.N. (2012). Analysis of approaches to formation of an expert group focused on preparing and making decisions. *Science and education*, 5, 333-346.

16. Andreychikov, A.V. & Andreychikova, O.N. (2000). Analysis, synthesis, planning decisions in the economy. Moscow, Russia: Finance and Statistics.

17. Voverene, O.I. (1985). Bibliometrics - structural part of the methodology of computer science streams. *STI. Organization and technique of information work*, 1(7), 1-5.

18. Categories of Scientific and Technical Information SC 022: 2008 (2009). Retrieved from http://lawburo.ucoz.ua/index/rubrikator_naukovo_tekhnichnoji_informaciji_rubrikator_nti/0-140

19. Nalimov, V.V., & Mulchenko Z.M. (1969). *Scientometrics. Studies of science as a process of information*. Moscow, Russia: Science.

20. Skorniyakov, E.P., Omarova, T.B., & Chelisheva, O.V. (2000). *Guidelines for conducting patent research*. Moscow, Russia: INIC Rospatent.

21. Bidyuk, P.I., Gasanov, A.S., & Vavilov, S.Ye. (2013). Analysis of the quality assessment of forecasts using the method of complexification. *System Research and Information Technologies*, 4, 7-16.

22. Romanenkov, YU.A., Vartanyan, V.M., & Revenko D.S. (2014). Complexification of forecast estimates on the system of monitoring indicators a condition of the business process. *Control systems, navigation and communication: collection of scientific papers*, 2(30), 79-86.

23. Golyandina, N.E. (2004). *The method of "Caterpillar" - SSA: the forecast time series*. St. Petersburg, Russia: Publishing House of St. Petersburg State University.

24. Il'yenkova, S. D., Kuznetsov, V. I., & Yagudin S. YU. (2009). *Innovation Management: training complex*. Moscow, Russia: MESI.

25. Oprya, A. T. (2012). *Statistics: tutorial*. Kyiv, Ukraine: Center of educational literature.

26. Orlov, A. I. (2006). *Applied Statistics*. Moscow, Russia: Examination.

27. Kovalenko, I. I., & Shved, A. V. (2013). *Expert technology decision support*. Nikolayev, Ukraine: Ilion.

28. Petrovskyy, A.B. (2009). *Decision theory: a textbook for students*. Moscow, Russia: Publishing House of the Academy.

29. Pospelova, Y.Y., & Lotov, L.A. (2008). *Multicriteria decision making problems*. Moscow, Russia: MAX Press.

30. Vyshnevskyy, V., & Symonov, S. (2010). In K. Markov, V. Velychko, O. Voloshin (Ed.), *Situation Centre as a tool for foresight studies. Proceedings of the International scientific-technical conference: Information models of knowledge* (pp. 40-45). Kiev, Ukraine: ITHEA.

Автор: ШОСТАК Ігорь Владимирович
доктор техн. наук, професор, професор каф. інженерії ПО Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна
E-mail: iv.shostak@gmail.com

Автор: ДАНОВА Марія Александрівна
канд. техн. наук, ст. преп. каф. інженерії ПО Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна,
E-mail: danovamariya@gmail.com

Автор: РОМАНЕНКОВ Юрій Александрович
канд. техн. наук, доцент каф. економіки і маркетингу Національного аерокосмічного університета ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна
E-mail: KhAI.management@ukr.net

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ЕКСПЕРТНИХ РІШЕНЬ В НАЦІОНАЛЬНИХ ФОРСАЙТ-ДОСЛІДЖЕННЯХ

I.B. Шостак, М.О. Данова, Ю.О. Романенков

Наведено постановку завдання інформатизації етапів національного форсайт-проекту щодо вибору пріоритетних напрямків науково-технічного розвитку країни, результат вирішення даного завдання - перелік пріоритетних напрямків розвитку науки і технологій для об'єкта досліджень. Методичною основою послужили методи бібліометрії і наукометрії, багатокритеріальних задач прийняття рішень і патентного аналізу, а також методи комплексування прогнозних оцінок.

Ключові слова: форсайт, прогнозування, бібліометрія, патентний аналіз, Парето оптимальність, комплексування прогнозних оцінок.

INFORMATION TECHNOLOGY SUPPORT DECISION-MAKING BY EXPERTS IN NATIONAL FORESIGHT-RESEARCHES

I. Shostak, M. Danova, Ju. Romanenkov

Statement of the problem of informatization the national stages foresight project at the choice of the priority directions of scientific and technological development of the country is given, the result of solving this problem - list of priority directions of development the science and technology for the object of research. Methods of bibliometrics and scientometrics, multicriteria decision making problems and patent analysis, as well as methods of complexification of forecast estimates formed a methodical basis. An approach, providing automation of each of the four stages of the national foresight project at the choice of priorities in predicting scientific and technological development is offered. In consideration of information technology realized the possibility of complexification forecast estimates. The use of this approach in practice will make it possible to increase the effectiveness of foresight projects by reducing time-consuming, as well as the rational use of financial and human resources. The obtained results can serve as a methodological basis for the creation a system complex automation of national foresight projects at the choice of priority directions of scientific and technological development.

Key words: the foresight, forecasting, bibliometrics, patent analysis, Pareto optimality, complexification of forecast estimates.